

U77926328

DOCKET NO.: 214807US2

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

IN RE APPLICATION OF: Jean-Louis GERSTENMAYER

SERIAL NO.: NEW U.S. PCT APPLICATION

FILED: HEREWITH

INTERNATIONAL APPLICATION NO.: PCT/FR00/00917

INTERNATIONAL FILING DATE: 11 APRIL 2000

FOR: TWO-DIMENSIONAL DETECTOR OF IONIZING RADIATION AND PROCESS

FOR MANUFACTURING THIS DETECTOR

**REQUEST FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119**  
**AND THE INTERNATIONAL CONVENTION**

Assistant Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicant claims as priority:

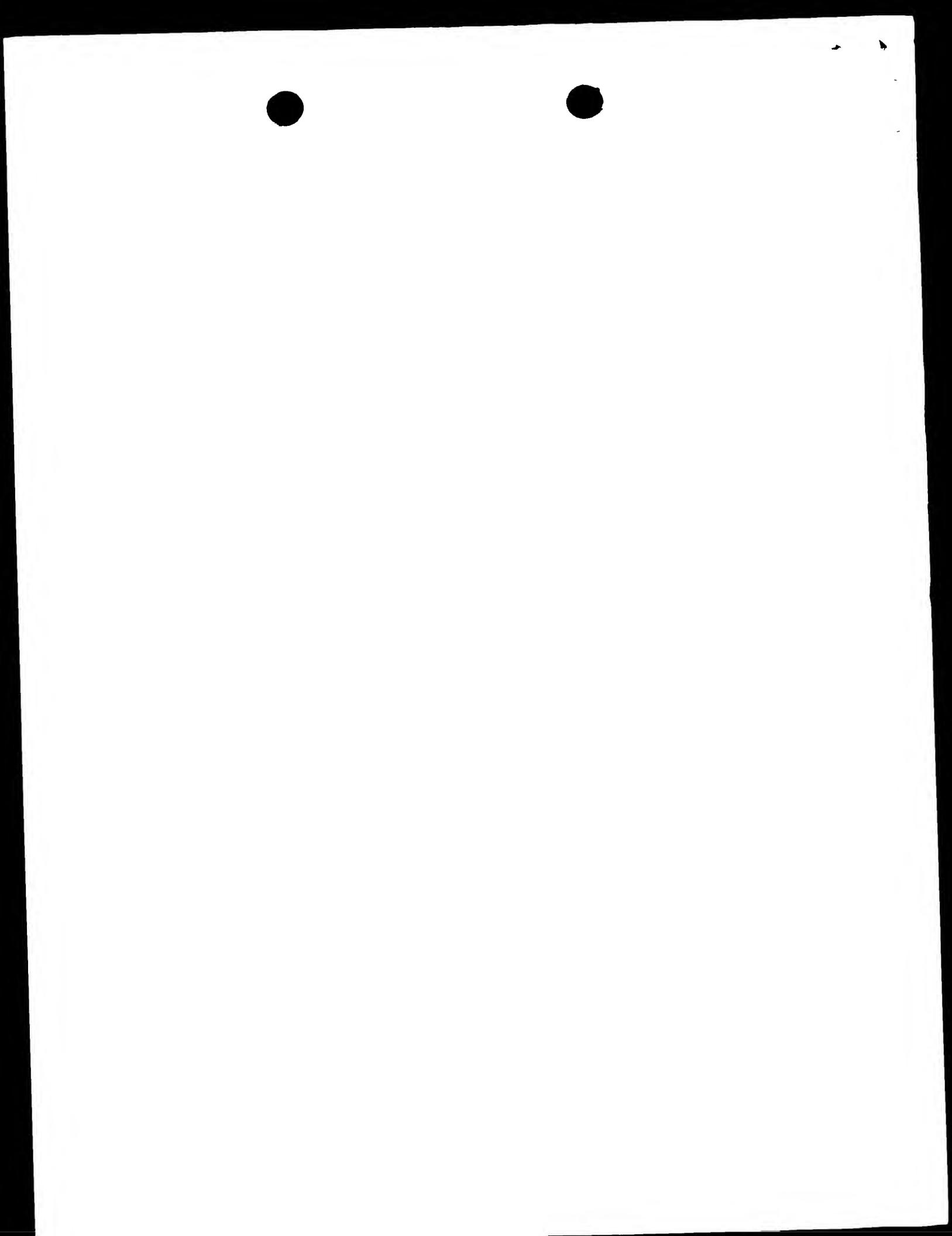
<b>COUNTRY</b>	<b>APPLICATION NO.</b>	<b>DAY/MONTH/YEAR</b>
FRANCE	99/04725	15 APRIL 1999

A certified copy of the corresponding Convention application(s) was submitted to the International Bureau in PCT Application No. **PCT/FR00/00917**. Receipt of the certified copy(s) by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.

Respectfully submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.  
\_\_\_\_\_  
Marvin J. Spivak  
Attorney of Record  
Registration No. 24,913  
Surinder Sachar  
Registration No. 34,423**22850**

(703) 413-3000  
Fax No. (703) 413-2220  
(OSMMN 1 97)



DOCKET NO.: 214807US2 CT

091926328

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

IN RE APPLICATION OF: Jean-Louis GERSTENMAYER

SERIAL NUMBER: NEW U.S. PCT APPLICATION (based on PCT/FR00/00917)

FILED: HEREWITH

FOR: TWO-DIMENSIONAL DETECTOR OF IONIZING RADIATION AND PROCESS  
FOR MANUFACTURING THIS DETECTOR**REQUEST FOR CONSIDERATION OF DOCUMENTS  
CITED IN INTERNATIONAL SEARCH REPORT**Assistant Commissioner for Patents  
Washington, D.C. 20231

Sir:

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that applicant(s) request that the Examiner consider the documents cited in the International Search Report according to MPEP §609 and so indicate by a statement in the first Office Action that the information has been considered. When the Form PCT/DO/EO/903 indicates both the search report and copies of the documents are present in the national stage file, there is no requirement for the applicant(s) to submit them (1156 O.G. 91 November 23, 1993).

Respectfully submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.

---

Marvin J. Spivak  
Attorney of Record  
Registration No. 24,618  
Surinder Sachar  
Attorney of Record  
Registration No. 34,423

**22850**

(703) 413-3000  
Fax No. (703) 413-2220  
(OSMMN 1/97)





AT/FR 00/00917

REC'D	08 MAY 2000
WIPO	PCT

# BREVET D'INVENTION

## CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

### COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 02 MARS 2000

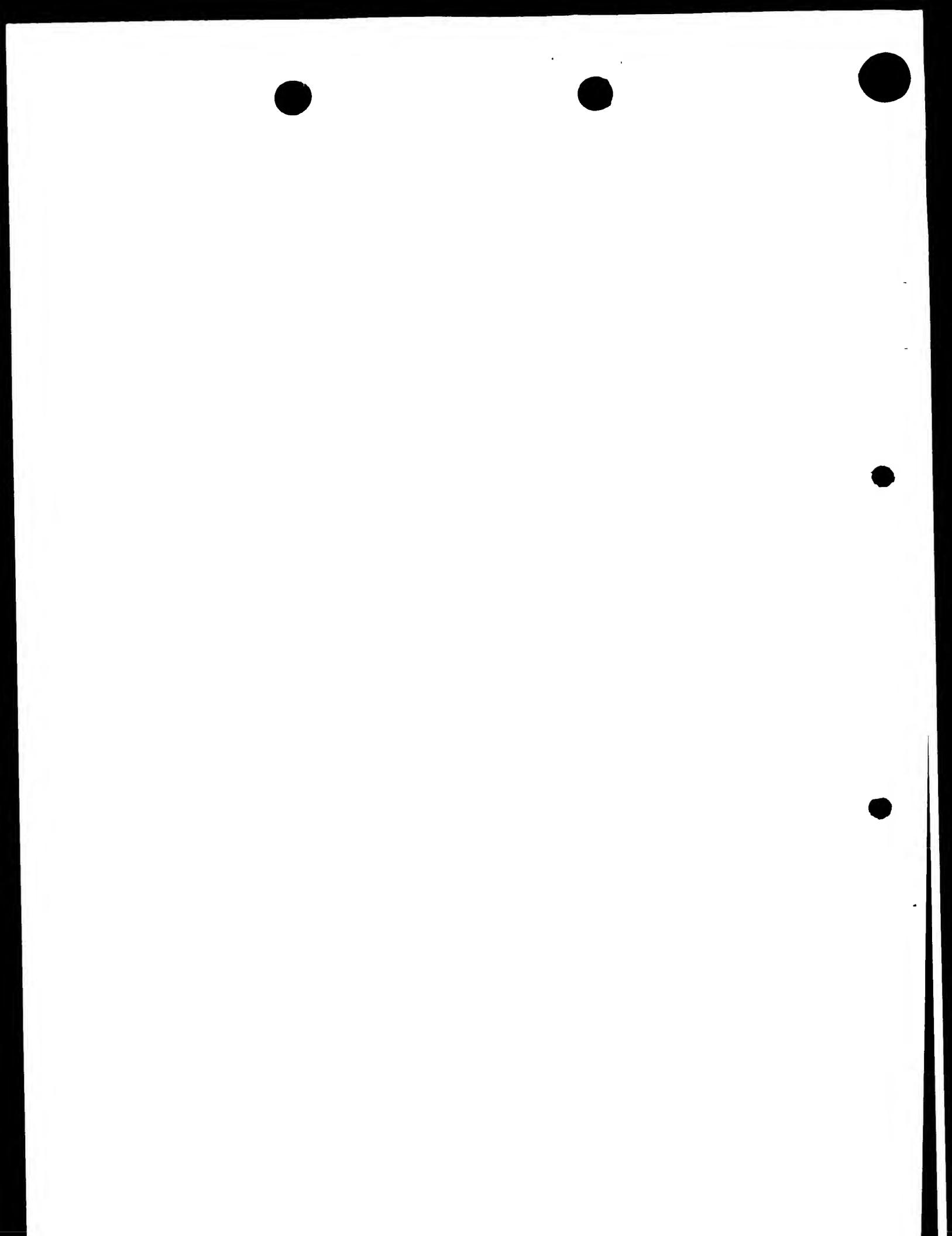
Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

### PRIORITY DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

SIEGE  
INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIETE  
INDUSTRIELLE  
26 bis rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS Cedex 08  
Telephone 01 53 04 53 04  
Telecopie 01 42 93 59 30





26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 Paris Cedex 08  
Telephone : 01 53 04 53 04 Télecopie : 01 42 93 59 30

## REQUÊTE EN DÉLIVRANCE

Confirmation d'un dépôt par télecopie

Cet imprimé est à remplir à l'encre noire en lettres capitales

VP 55-1328

Réserve à l'INPI

DATE DE REMISE DES PIÈCES

15 AVR 1999

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

99 04725 -

DEPARTEMENT DE DÉPÔT

75

15 AVR. 1999

DATE DE DÉPÔT

1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE  
À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE

BREVATOME

3, rue du Docteur Lancereaux  
75008 PARIS

### 2 DEMANDE Nature du titre de propriété industrielle

brevet d'invention  demande divisionnaire  
 certificat d'utilité  transformation d'une demande  
de brevet européen



n° du pouvoir permanent références du correspondant téléphone  
07068 du 12-06-98 B 13195.3/PV 01 53 83 94 00  
UD 197

certificat d'utilité n°

date

### Établissement du rapport de recherche

différé  immediat

Le demandeur, personne physique, requiert le paiement échelonné de la redevance

oui  non

Titre de l'invention (200 caractères maximum)

DETECTEUR BIDIMENSIONNEL DE RAYONNEMENTS IONISANTS ET  
PROCEDE DE FABRICATION DE CE DETECTEUR.

### 3 DEMANDEUR (S) n° SIREN

code APE-NAF

Nom et prénoms (souligner le nom patronymique) ou dénomination

Forme juridique

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE  
Etablissement de Caractère Scientifique,  
Technique et Industriel

Nationalité (s) Française

Adresse (s) complète (s)

31,33 rue de la Fédération 75015 PARIS

Pays

France

En cas d'insuffisance de place, poursuivre sur papier libre

### 4 INVENTEUR (S) Les inventeurs sont les demandeurs

oui

non

Si la réponse est non, fournir une désignation séparée

### 5 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES

requise pour la 1ère fois

requise antérieurement au dépôt : joindre copie de la décision d'admission

### 6 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE

pays d'origine

numéro

date de dépôt

nature de la demande

### 7 DIVISIONS antérieures à la présente demande n°

date

n°

date

### 8 SIGNATURE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE

(nom et qualité du signataire)

G. BRYKMAN  
422-5/S002

SIGNATURE DU PRÉPOSE À LA RECEPTION

SIGNATURE APRÈS ENREGISTREMENT DE LA DEMANDE A L'INPI

DÉSIGNATION DE L'INVENTEUR

(si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

DEPARTEMENT DES BREVETS

26bis, rue de Saint-Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08  
Tél. : 01 53 04 53 04 - Télécopie : 01 42 93 59 30

**B 13195 3 / PV**

N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL

*9904725*

TITRE DE L'INVENTION :

**DETECTEUR BIDIMENSIONNEL DE RAYONNEMENTS IONISANTS ET  
PROCEDE DE FABRICATION DE CE DETECTEUR.**

LE(S) SOUSSIGNÉ(S)

G. BRYKMAN  
c/o BREVATOME  
25 rue de Ponthieu  
75008 PARIS

DÉSIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) (indiquer nom, prénoms, adresse et souligner le nom patronymique) :

Jean-Louis GERSTENMAYER

Résidence Les Pampres  
Avenue de Champagne  
91940 LES ULLIS

FRANCE

NOTA : A titre exceptionnel, le nom de l'inventeur peut être suivi de celui de la société à laquelle il appartient (société d'appartenance) lorsque celle-ci est différente de la société déposante ou titulaire.

Date et signature (s) du (des) demandeur (s) ou du mandataire

PARIS LE 15 AVRIL 1999

G. BRYKMAN

422.5/S002

DÉTECTEUR BIDIMENSIONNEL DE RAYONNEMENTS IONISANTS ET  
PROCÉDÉ DE FABRICATION DE CE DÉTECTEUR

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

5 La présente invention concerne un détecteur bidimensionnel de rayonnements ionisants ainsi qu'un procédé de fabrication de ce détecteur.

A titre d'exemple, l'invention est utilisable pour détecter les photons X, les photons 10 gamma, les protons, les neutrons et les muons.

L'invention s'applique notamment aux domaines suivants :

- expérimentations en détonique,
- contrôle non destructif rapide,
- 15 - positionnement de patients en radiothérapie,
- physique des hautes énergies,
- neutronographie, protonographie, radiographie, gammagraphie,
- chirurgie sous radioscopie, et
- 20 - sécurité dans les aéroports.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

On connaît déjà des détecteurs bidimensionnels de rayonnements ionisants qui sont constitués de plaques faites d'un métal lourd comme le 25 plomb ou, plus généralement, d'un matériau capable d'interagir avec un rayonnement ionisant incident.

A titre d'exemple, il est connu d'utiliser un métal de numéro atomique  $Z$  supérieur ou égal à 73 pour la détection de photons X ou gamma et un matériau de numéro atomique  $Z$  généralement inférieur à 14 ou 5 supérieur à 90 pour la détection de neutrons. D'autres matériaux, tels que le Gadolinium ( $Z=64$ ), sont également utilisables pour détecter des neutrons.

Les plaques sont percées de trous par attaque chimique ou électrochimique et isolées 10 électriquement les unes des autres si cela est nécessaire (lorsque l'épaisseur des plaques vaut quelques centaines de micromètres ou plus).

Les trous sont remplis d'un gaz ionisable.

Un photon incident X ou gamma, de haute 15 énergie, engendre alors, par effet Compton ou effet de création de paires, au moins un photo-électron dans l'une des plaques du détecteur.

Ce photon incident X ou gamma communique à 20 cet électron un mouvement rapide, avec une énergie cinétique de l'ordre de grandeur de celle du photon incident ; cet électron rapide ionise alors certaines molécules du gaz contenu dans l'un des trous auquel parvient l'électron et que ce dernier traverse en général.

25 Les électrons secondaires lents, qui sont arrachés à ces molécules du fait de l'ionisation de ces dernières, sont guidés le long de ce trou et collectés à l'aide d'un champ électrique de polarisation (« bias »), encore appelé champ électrique de dérive 30 (« drift »), puis détectés par exemple dans une chambre à ionisation ou dans une chambre à avalanches proportionnelles.

De tels détecteurs bidimensionnels sont par exemple décrits dans les documents [1], [2], [3], [4] et [5] qui sont mentionnés à la fin de la présente description.

5 Le choix d'une structure de détection à trous vient de ce qu'une telle structure est connue pour être très favorable à l'obtention d'une bonne résolution spatiale et d'un bon rendement, à condition que les trous soient parfaitement formés et  
10 suffisamment larges.

Une attaque chimique (« chemical etching ») est utilisée pour former ces trous : elle est préférée à la découpe par jet d'eau qui engendre un choc frontal lors de l'ouverture du jet, au commencement du perçage  
15 d'un trou.

Ce choc frontal écaille le matériau dans lequel on veut former les trous, ce qui provoque un éclatement de ce matériau et le rend impropre à une utilisation.

20 Mais l'attaque chimique est une technique lente et coûteuse.

De plus, le rendement de collection des électrons secondaires et donc le rendement de ces détecteurs à trous sont limités du fait de  
25 l'utilisation de cette technique : seulement 10% à 30% des électrons secondaires créés à chaque ionisation du gaz sont collectés.

En effet, une attaque chimique ne permet pas d'obtenir des trous dont les parois internes soient  
30 suffisamment cylindriques car elle engendre des étranglements dans les trous, ce qui déforme les lignes du champ électrique et réduit le diamètre utile de ces

trous, d'où un rendement global limité pour les détecteurs à trous.

#### EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de 5 remédier à ces inconvénients de coût élevé et de rendement limité.

De façon précise, la présente invention a pour objet un détecteur bidimensionnel d'un rayonnement ionisant incident constitué de premières particules, ce 10 détecteur comprenant un empilement de feuilles d'un premier matériau qui est apte à émettre des deuxièmes particules par interaction avec le rayonnement ionisant incident, ce détecteur étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre :

- 15 - des couches d'un matériau semiconducteur qui alternent avec les feuilles du premier matériau et sont capables d'être ionisées par les deuxièmes particules, chacune des couches étant associée à l'une des feuilles, l'empilement ayant des première et deuxième faces opposées, contenant chacune des bords respectifs des feuilles et des couches, le détecteur étant destiné à être orienté de façon que le rayonnement ionisant arrive sur la première face, la longueur de chaque feuille, comptée de la première 20 à la deuxième face, étant au moins égale au dixième du libre parcours moyen des premières particules dans le premier matériau,
- 25 - des groupes de pistes parallèles et électriquement conductrices qui s'étendent de la première à la deuxième face, parallèlement aux couches, chaque groupe étant associé à l'une des couches et en

contact avec celle-ci, les pistes étant destinées à collecter des porteurs de charge qui sont engendrés dans les couches par interaction de celles-ci avec les deuxièmes particules et éventuellement avec les 5 premières particules et qui sont représentatifs, en intensité et en position, des premières particules, et

10 - des moyens de création d'un champ électrique apte à provoquer la collection des porteurs de charge par les pistes.

Le détecteur objet de l'invention est réalisable avec un coût beaucoup plus faible que celui des détecteurs à trous, mentionnés plus haut.

15 De plus, le rendement de collection et la résolution spatiale du détecteur objet de l'invention sont susceptibles d'être très supérieurs à ceux de ces détecteurs à trous.

20 Selon un mode de réalisation particulier du détecteur objet de l'invention, le premier matériau est électriquement conducteur, les pistes sont électriquement isolées des feuilles et les moyens de 25 création du champ électrique comprennent des moyens d'application d'une tension électrique entre les pistes et les feuilles, cette tension étant apte à provoquer la collection des porteurs de charge par les pistes.

De préférence, chaque groupe de pistes est contenu dans la couche à laquelle il est associé.

30 Dans ce cas, selon un autre mode de réalisation particulier, le premier matériau est électriquement conducteur et les moyens de création du champ électrique comprennent des moyens d'application d'une tension électrique entre les pistes et les

feuilles, cette tension étant apte à provoquer la collection des porteurs de charge par les pistes.

Selon un autre mode de réalisation particulier, les feuilles sont électriquement isolantes, une couche électriquement conductrice est 5 interposée entre chaque couche de matériau semiconducteur et la feuille qui lui est associée et les moyens de création du champ électrique comprennent des moyens d'application d'une tension électrique entre 10 les pistes et les couches électriquement conductrices, cette tension étant apte à provoquer la collection des porteurs de charge par les pistes.

Le matériau semiconducteur peut être de type cristallin, céramique, vitreux, amorphe ou 15 polymère.

Il peut être choisi dans le groupe comprenant le diamant en couche mince, CdTe, ZnTe, CdZnTe, AsGa notamment de type  $AsGaAl_xP_{1-x}$  ( $0 < x < 1$ ), InP, InSb, SiC, le silicium cristallin, le silicium amorphe, 20 les cristaux organiques comme par exemple l'anthracène, le naphtalène et le PPV, le sélénium amorphe et le verre chalcogénure ( $As_2S_3$ ).

Le détecteur objet de l'invention peut comprendre en outre un dispositif électronique de 25 lecture des signaux électriques fournis par les pistes lorsque celles-ci collectent les porteurs de charge.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, une extrémité de chaque piste est recourbée pour s'étendre sur un bord de la couche 30 correspondante de matériau semiconducteur, ce bord étant situé sur la deuxième face de l'empilement, et le dispositif comprend des plots électriquement

conducteurs qui sont respectivement en contact avec les extrémités recourbées des pistes.

La présente invention concerne aussi un procédé de fabrication du détecteur objet de 5 l'invention.

Selon ce procédé on forme, sur chaque feuille, une couche du matériau semiconducteur, cette couche étant munie du groupe de pistes qui lui est associé et l'on assemble les feuilles munies des 10 couches de matériau semiconducteur et des pistes pour obtenir l'empilement où ces couches de matériau semiconducteur alternent avec les feuilles.

Selon un mode de mise en oeuvre particulier du procédé objet de l'invention, on forme sur chaque 15 feuille une première couche de matériau semiconducteur dont l'épaisseur est inférieure à celle de ladite couche de matériau semiconducteur, on forme le groupe de pistes sur cette première couche et l'on forme, sur la première couche, une deuxième couche de matériau 20 semiconducteur qui recouvre ces pistes, l'épaisseur totale des première et deuxième couches étant égale à l'épaisseur de ladite couche de matériau semiconducteur.

On peut aussi déposer, sur deux faces 25 opposées de deux feuilles successives, une demi-couche du matériau semiconducteur puis former sur l'une des demi-couches le groupe de pistes et assembler les feuilles ainsi recouvertes pour obtenir l'empilement où les couches alternent avec les feuilles.

30 BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins 5 annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue en perspective schématique d'un mode de réalisation particulier du détecteur objet de l'invention,
- la figure 2 est une vue en coupe transversale schématique du détecteur de la figure 1, selon le plan P de celle-ci,
- la figure 3 est une vue en perspective coupée schématique d'un autre détecteur conforme à l'invention, et
- la figure 4 est une vue en perspective schématique et partielle d'un autre détecteur conforme à l'invention.

#### EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Un détecteur de rayonnement ionisant 20 conforme à l'invention est schématiquement représenté en perspective sur la figure 1 et en coupe transversale suivant un plan P sur la figure 2.

Dans l'exemple représenté, le rayonnement ionisant est constitué de photons X qui ont par exemple 25 une énergie de 5 MeV.

Le détecteur des figures 1 et 2 comprend un empilement 2 de feuilles 4 d'un matériau électriquement conducteur qui est apte à émettre des électrons par interaction avec les photons X du rayonnement ionisant 30 incident.

Ce détecteur comprend aussi des couches 6 d'un matériau semiconducteur qui alternent avec les feuilles 4 et sont capables d'être ionisées par les photo-électrons émis par le matériau conducteur lorsque 5 celui-ci interagit avec les photons X et éventuellement directement, bien que dans une moindre proportion, par les photons X primaires.

Chacune des couches 6 est associée à l'une des feuilles 4.

10 L'empilement des feuilles 4 et des couches 6 a une première face 8 et une deuxième face 10 qui sont opposées.

15 Chacune des faces 8 et 10 contient des bords 12 des feuilles 4 et des bords 14 des couches 6 qui alternent avec les bords 12 des feuilles 4.

Le détecteur des figures 1 et 2 est orienté de façon que le rayonnement ionisant à détecter arrive sur la face 8.

20 La longueur de chaque feuille 4, comptée de la face 8 à la face 10, est au moins égale au dixième du libre parcours moyen des photons X dans le matériau conducteur dont sont constituées les feuilles 4.

25 Comme on le voit sur les figures 1 et 2, un photon X incident, dont la trajectoire a la référence 16 sur les figures 1 et 2, interagit avec le matériau conducteur d'une feuille 4 pour produire, par effet Compton, photoélectrique ou de création de paires, un électron de grande énergie cinétique, dont la trajectoire est représentée par la flèche 18 sur la 30 figure 2.

On a également représenté par une flèche 20 sur la figure 2 la trajectoire du photon d'énergie inférieure à celle du photon X incident, qui résulte de

l'interaction de ce dernier avec le matériau conducteur de la feuille 4.

Le détecteur des figures 1 et 2 comprend aussi des groupes de piste 22 parallèles et 5 électriquement conductrices qui s'étendent de la face 8 à la face 10, parallèlement aux couches 6.

Chaque groupe de pistes 22 est associé à l'une des couches 6 et en contact avec celle-ci.

Les pistes 22 sont destinées à collecter 10 des porteurs de charge qui sont engendrés dans les couches 6 par interaction de celles-ci avec les électrons résultant de l'interaction des photons X incidents avec le matériau conducteur dont sont faites les feuilles 4.

15 Ces porteurs de charge sont représentatifs, en intensité et en position, des photons X incidents.

On voit sur la figure 2 un porteur de charge dont la trajectoire a la référence 24 et qui résulte de l'interaction de l'électron ayant la 20 trajectoire 18 avec une couche 6 et ce porteur de charge ayant la trajectoire 24 est collecté par une piste conductrice 22 associée à cette couche 6.

Le détecteur comprend aussi des moyens 26 (figure 1) de création d'un champ électrique apte à 25 provoquer la collection des porteurs de charge par les pistes 22.

A titre purement indicatif et nullement limitatif, le détecteur des figures 1 et 2 est disposé de façon que les feuilles 4 et les couches 6 soient 30 horizontales ou, au contraire, verticales mais d'autres orientations sont envisageables, suivant l'utilisation qui est faite du détecteur.

Il convient simplement que les feuilles 4 et les couches 6 soient sensiblement parallèles à la direction du rayonnement ionisant à détecter.

5 Dans l'exemple représenté sur les figures 1 et 2, chaque groupe de pistes conductrices 22 est contenu dans la couche 6 à laquelle est associé ce groupe.

10 Cela évite d'avoir à utiliser des supports électriquement isolants (par exemple en matière plastique ou en céramique) pour les pistes, supports qui sont encombrants, ce qui diminue la résolution spatiale du détecteur, et qui sont d'ailleurs inutiles à la détection proprement dite.

15 Dans le cas de ces figures 1 et 2, les moyens 26 de création du champ électrique sont des moyens d'application d'une tension électrique entre les pistes 22 et les feuilles 4, cette tension étant apte à provoquer la collection des porteurs de charge par les pistes 22.

20 On précise que le plan de coupe P (figure 2) traverse les pistes conductrices d'une même rangée de pistes (rangée qui est horizontale sur la figure 1), les pistes de cette rangée appartenant respectivement aux couches 6.

25 Dans un mode de réalisation particulier non représenté, le matériau constitutif des feuilles 4 est encore électriquement conducteur mais les pistes 22 ne sont plus contenues dans les couches 6 de matériau semiconducteur : chaque groupe de pistes se trouve à 30 l'interface de la couche de matériau semiconducteur correspondante et de la feuille de matériau conducteur qui est associée à une couche adjacente de matériau semiconducteur.

Dans ce cas, on prévoit un matériau électriquement isolant pour isoler électriquement les pistes 22 des feuilles 4 de matériau conducteur mais l'on peut encore utiliser les mêmes moyens de création 5 de champ électrique que précédemment.

Le détecteur des figures 1 et 2 est muni d'un dispositif électronique 30 de lecture des signaux électriques fournis par les pistes 22 lorsque celles-ci collectent les porteurs de charge.

10 On voit sur la figure 2 qu'une extrémité 32 de chaque piste 22 est recourbée pour s'étendre sur un bord 14 de la couche 6 correspondante, ce bord étant situé sur la face 10 de l'empilement des feuilles 4 et des couches 6.

15 Le dispositif électronique de lecture 30 comprend des plots électriquement conducteur 34 qui sont respectivement en contact avec les extrémités recourbées 32 des pistes 22.

20 Ce contact peut être réalisé par l'intermédiaire de boules 36 de brasure, par exemple des boules d'indium, ou par l'intermédiaire de fils électriquement conducteurs ou même en appliquant les extrémités recourbées des pistes contre les plots du dispositif de lecture associé, par des moyens 25 appropriés, par exemple par pressage ou avec une colle électrique.

On précise que les plots 34 sont disposés suivant le même pas que les extrémités recourbées 32 des pistes 22.

30 On peut utiliser un matériau semiconducteur non dopé ou, au contraire, un matériau semiconducteur dopé par exemple de type N, auquel cas les électrons

sont les porteurs de charge majoritaires, ou de type P, auquel cas les porteurs majoritaires sont les trous.

Pour collecter les porteurs de charge, on peut mettre les feuilles conductrices 4 à un potentiel 5 négatif et les plots conducteurs 34 (et donc les pistes 22) à la masse ou mettre les feuilles 4 à la masse et les plots conducteurs 34 (et donc les pistes 22) à un potentiel positif.

Dans les deux cas les trous engendrés dans 10 les couches 6 de matériau semiconducteur sont attirés par les feuilles 4 de matériau conducteur tandis que les électrons engendrés dans ces couches 6 sont attirés par les pistes 22 et collectés par celles-ci, fournissant ainsi des signaux électriques qui sont lus 15 grâce au dispositif 30.

Inversement on peut porter les feuilles 4 à un potentiel positif et mettre les plots 34 à la masse ou mettre les feuilles 4 à la masse et porter les plots 34 à un potentiel négatif. Dans les deux cas les 20 électrons sont attirés par les feuilles et les trous sont attirés par les pistes et collectés par celles-ci, fournissant encore des signaux électriques qui sont lus grâce au dispositif 30.

Dans chaque cas, les pistes 22 25 convertissent, sous forme numérique et électrique, l'image analogique qui est transportée par les rayons X que l'on détecte.

Dans l'exemple représenté sur la figure 2, toutes les pistes 22 sont mises à la masse par 30 l'intermédiaire des plots électriquement conducteurs 34 et l'on porte à un potentiel négatif toutes les feuilles de matériau conducteur 4 grâce à une source de tension 38.

Dans ce cas, les pistes 22 collectent des électrons.

Pour porter à un potentiel négatif (par exemple égal à -500 V) toutes les feuilles 4 de 5 matériau conducteur on utilise une plaque électriquement isolante 40 sur une face de laquelle sont formées des pistes 42 parallèles électriquement conductrices dont la pas est égal à celui des feuilles 4.

10 Toutes ces pistes 42 sont reliées à une piste 44 également formée sur cette face de la plaque 40 et cette piste 44 est reliée à la source de tension négative 38.

15 On applique alors la face de la plaque 40 portant les pistes 42 sur une face de l'empilement 2 sur laquelle apparaissent également des bords des feuilles 4, cette face étant différente des faces 8 et 10, de telle manière que les pistes 42 viennent respectivement en contact avec les bords des feuilles 20 4, ce qui permet de porter toutes ces feuilles 4 au potentiel négatif souhaité.

La plaque 40 est par exemple en céramique ou en polymère et les pistes 42 et 44 en or.

25 De préférence, pour des raisons d'encombrement et de vitesse de lecture, le dispositif électronique de lecture 30 est du genre de ceux qui sont utilisés dans les capteurs CCD.

30 Pour un détecteur de dimensions modestes, on peut connecter directement les pistes 22 de l'empilement 2 aux pixels d'un capteur CCD sans revêtement (« coating »).

Dans le cas d'un détecteur de plus grandes dimensions, on peut prévoir une matrice de connexion

intermédiaire entre les pistes 22 de l'empilement 2 et le dispositif de lecture par exemple de type CCD.

Les plots conducteurs 34 se trouvent alors sur l'une des faces de cette matrice pour être 5 respectivement connectés aux extrémités recourbées 32 des pistes 22 et ces plots sont électriquement reliés aux pixels d'un dispositif de lecture par exemple de type CCD par l'intermédiaire de connexions électriques qui traversent cette matrice.

10 L'épaisseur d'un détecteur conforme à l'invention comme par exemple le détecteur de la figure 1, cette épaisseur étant comptée de la face 8 à la face 10, peut être du même ordre de grandeur que l'épaisseur d'un détecteur à trous du genre de ceux qui ont été 15 décrits plus haut, cette épaisseur étant adaptée en fonction du pouvoir d'arrêt recherché.

Il convient de noter que le matériau constitutif des feuilles 4 peut être chimiquement inerte ou mauvais conducteur de l'électricité (on 20 considérera par la suite un cas où il est isolant), contrairement au matériau électrochimiquement usinable que l'on doit utiliser pour les détecteurs à trous.

Les épaisseurs des feuilles 4 de matériau conducteur (ou isolant comme on le verra plus loin) et 25 des couches 6 de matériau semiconducteur sont fixées pour optimiser la résolution spatiale du détecteur et le rendement de conversion (conversion et collection des charges). De préférence, on recherche les épaisseurs les plus petites possibles, typiquement de 30 l'ordre de 100  $\mu\text{m}$  à quelques centaines de micromètres.

A titre d'exemple on peut utiliser des feuilles 4 de matériau conducteur dont l'épaisseur est de l'ordre de 200  $\mu\text{m}$  et des couches 6 de matériau

semiconducteur dont l'épaisseur est de l'ordre de 200  $\mu\text{m}$ .

Il convient de noter que, dans les détecteurs à trous de l'art antérieur, l'épaisseur des feuilles de métal, comptée perpendiculairement à la direction du rayonnement incident, est fixée pour que ces feuilles puissent être attaquées chimiquement (épaisseur de l'ordre de 200  $\mu\text{m}$ ).

Dans la présente invention, cette 10 contrainte est sans objet et l'épaisseur des feuilles 4 de matériau (conducteur ou isolant) et des couches 6 de matériau semiconducteur est entièrement fixée par les contraintes d'application.

Il convient également de noter que la 15 structure d'un détecteur conforme à l'invention permet d'améliorer de façon spectaculaire le rendement (de l'ordre de 50%), avec une épaisseur appropriée de matériau suivant la direction du rayonnement à détecter, et la résolution spatiale qui peut être de 20 20 l'ordre de 100  $\mu\text{m}$  en choisissant un pas approprié pour les pistes 22.

En effet, dans la direction perpendiculaire aux feuilles 4 la résolution spatiale est déterminée par le pas entre les feuilles 4 et entre les pistes 25 (qui peut être de l'ordre de 50  $\mu\text{m}$  à 200  $\mu\text{m}$ ).

Pour la détection de rayons X, on utilise de préférence un métal lourd, par exemple du tungstène ou du plomb.

A titre purement indicatif et nullement 30 limitatif, dans le cas où l'on veut détecter des photons X dont l'énergie vaut 5 MeV, on utilise un détecteur de 2 cm d'épaisseur (comptée de la face 8 à la face 10 de la figure 1), des couches 6 en CdTe ou en

diamant de 100  $\mu\text{m}$  d'épaisseur et des feuilles 4 de tungstène de 400  $\mu\text{m}$  d'épaisseur avec des pistes 22 au pas de 0,5 mm. Ces dimensions peuvent être réduites si cela est nécessaire, un pas de 100  $\mu\text{m}$  étant 5 technologiquement réalisable.

On explique maintenant un exemple de procédé de fabrication du détecteur des figures 1 et 2.

Les feuilles 4 de matériau conducteur peuvent être réalisées par un procédé quelconque.

10 Leur surface doit être suffisamment conductrice et non oxydée.

Cette surface peut être revêtue, si cela est nécessaire, d'un dépôt métallique plus adapté à la réalisation d'un contact ohmique avec le matériau 15 semiconducteur, par exemple une couche d'or.

Pour former sur les couches 6 de matériau semiconducteur les pistes 22 qui peuvent être en or ou en un métal mieux adapté au semiconducteur utilisé, on peut procéder de la façon suivante :

20 - on dépose une première épaisseur de matériau semiconducteur (par exemple 50  $\mu\text{m}$ ) sur l'une des faces de l'une des feuilles conductrices 4 par exemple par dépôt chimique en phase vapeur (« chemical vapor deposition »), par épitaxie, par

25 coulage en bande, par dépôt en phase liquide ou par un dépôt sol-gel,

- on dépose des pistes 22 en or ayant par exemple une largeur de 5  $\mu\text{m}$  par évaporation à travers un masque ou par un procédé de photolithographie, sur le 30 matériau semiconducteur ainsi déposé, et

- on dépose une deuxième épaisseur de matériau semiconducteur sur la première épaisseur de manière à recouvrir les pistes 22 et à obtenir l'épaisseur

totale souhaitée de matériau semiconducteur (par exemple 100 µm).

On procède de même pour chaque feuille conductrice 4.

5 En variante, on peut aussi déposer, sur deux faces opposées de deux feuilles successives, une demi-couche du matériau semiconducteur puis former sur l'une des demi-couches le groupe de pistes.

10 Les feuilles conductrices 4 ainsi recouvertes sont alors empilées de façon à obtenir l'alternance de feuilles conductrices 4 et de couches de matériau semiconducteur 6 et sont maintenues au contact les unes des autres par une légère pression qui est exercée par des moyens appropriés, par exemple un 15 dispositif mécanique, ou par une colle électriquement conductrice.

Le détecteur conforme à l'invention, qui est schématiquement représenté en perspective coupée sur la figure 3, diffère de celui de la figure 1 par le 20 fait que les feuilles 4 sont électriquement isolantes, par exemple en matière plastique, dans le cas de la figure 3, en vue de détecter par exemple des neutrons, et par le fait que l'on interpose entre chaque feuille de matériau isolant 4 et la couche de matériau 25 semiconducteur correspondante une couche mince (épaisseur de l'ordre de 5 µm à 10 µm) électriquement conductrice 46 par exemple en or ou en cuivre, comme on le voit sur la figure 3.

Dans ce cas on peut encore porter toutes 30 les couches électriquement conductrices 46 au potentiel électrique souhaité par rapport aux pistes 22, par l'intermédiaire de pistes électriquement conductrices

du genre des pistes 42 formées sur la plaque isolante 40 (figure 1).

La figure 4 est une vue en perspective schématique et partielle d'une variante de réalisation 5 du détecteur de la figure 1.

Dans le détecteur de la figure 4, chaque couche 6 est une nappe de fils juxtaposés 6a faits du matériau semiconducteur, chaque fil contenant, suivant son axe, un fil métallique constituant une piste 22.

10 Les fils 6a munis de ces pistes 22 peuvent être obtenus par extrusion ou filage.

Les documents cités dans la présente description sont les suivants :

15 [1] V. Perez-Mendez, S.I. Parker, IEEE Trans. Nucl.Sci. NS-21 (1974) 45

[2] S.N. Kaplan, L. Kaufman, V. Perez-Mendez, K. Valentine, Nuclear Instruments and Methods 106 (1973) 397

20 [3] A.P. Jeavons, G. Charpak, R.J. Stubbs, NIM 124 (1975) 491-503

[4] Jean-Louis Gerstenmayer, Damien Lebrun et Claude Hennion, « Multistep parallel plate avalanche chamber as a 2D imager for MeV pulsed radiography », Proc. SPIE, vol.2859, p.107 à 114, colloque du 7 au 8 août 1996, Denver, Colorado, U.S.A.

25 [5] J.L. Gerstenmayer, « High DQE performance X- and Gamma-ray fast imagers : emergent concepts », 1998 Symposium on Radiation Detection and Measurement, Ann Arbor, Michigan, 11 au 14 mai 1998,

Proceedings in Nuclear and Methods in Physics  
Research A.

## REVENDICATIONS

1. DéTECTEUR bidimensionnel d'un rayonnement ionisant incident constitué de premières particules, ce détECTEUR comprenant un empilement (2) 5 de feuilles (4) d'un premier matériau qui est apte à émettre des deuxièmes particules par interaction avec le rayonnement ionisant incident, ce détECTEUR étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre :

- des couches (6) d'un matériau semiconducteur qui 10 alternent avec les feuilles du premier matériau et sont capables d'être ionisées par les deuxièmes particules, chacune des couches étant associée à l'une des feuilles, l'empilement ayant des première (8) et deuxième (10) faces opposées, contenant 15 chacune des bords respectifs (12, 14) des feuilles et des couches, le détECTEUR étant destiné à être orienté de façon que le rayonnement ionisant arrive sur la première face (8), la longueur de chaque feuille, comptée de la première à la deuxième face, 20 étant au moins égale au dixième du libre parcours moyen des premières particules dans le premier matériau,
- des groupes de pistes (22) parallèles et 25 électriquement conductrices qui s'étendent de la première à la deuxième face, parallèlement aux couches (6), chaque groupe étant associé à l'une des couches et en contact avec celle-ci, les pistes étant destinées à collecter des porteurs de charge qui sont engendrés dans les couches par interaction de celles-ci avec les deuxièmes particules et éventuellement 30 avec les premières particules et qui sont représentatifs, en intensité et en position, des premières particules, et

- des moyens (26) de création d'un champ électrique apte à provoquer la collection des porteurs de charge par les pistes (22).

2. DéTECTEUR SELON LA REVENDICATION 1, DANS  
5 LEQUEL LE PREMIER MATERIAU EST ELECTRIQUEMENT  
CONDUCTEUR, LES PISTES (22) SONT ELECTRIQUEMENT ISOLEES  
DES FEUILLES ET LES MOYENS DE CREATION DU CHAMP  
ELECTRIQUE COMPRENNENT DES MOYENS (26) D'APPLICATION  
D'UNE TENSION ELECTRIQUE ENTRE LES PISTES (22) ET LES  
10 FEUILLES (4), CETTE TENSION ETANT APTE A PROVOQUER LA  
COLLECTION DES PORTEURS DE CHARGE PAR LES PISTES.

3. DéTECTEUR SELON LA REVENDICATION 1, DANS  
LEQUEL CHAQUE GROUPE DE PISTES (22) EST CONTENU DANS LA  
COUCHE (6) A LAQUELLE IL EST ASSOCIE.

15 4. DéTECTEUR SELON LA REVENDICATION 3, DANS  
LEQUEL LE PREMIER MATERIAU EST ELECTRIQUEMENT  
CONDUCTEUR ET LES MOYENS DE CREATION DU CHAMP  
ELECTRIQUE COMPRENNENT DES MOYENS (26) D'APPLICATION  
D'UNE TENSION ELECTRIQUE ENTRE LES PISTES (22) ET LES  
20 FEUILLES (4), CETTE TENSION ETANT APTE A PROVOQUER LA  
COLLECTION DES PORTEURS DE CHARGE PAR LES PISTES.

25 5. DéTECTEUR SELON L'UNE QUELCONQUE DES  
REVENDICATIONS 1 ET 3, DANS LEQUEL LES FEUILLES (4)  
SONT ELECTRIQUEMENT ISOLANTES, UNE COUCHE (46)  
ELECTRIQUEMENT CONDUCTRICE EST INTERPOSEE ENTRE CHAQUE  
COUCHE (6) DE MATERIAU SEMICONDUCTEUR ET LA FEUILLE (4)  
QUI LUI EST ASSOCIEE ET LES MOYENS DE CREATION DU CHAMP  
ELECTRIQUE COMPRENNENT DES MOYENS (26) D'APPLICATION  
D'UNE TENSION ELECTRIQUE ENTRE LES PISTES (22) ET LES  
30 COUCHES ELECTRIQUEMENT CONDUCTRICES (46), CETTE TENSION  
ETANT APTE A PROVOQUER LA COLLECTION DES PORTEURS DE  
CHARGE PAR LES PISTES.

6. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le matériau semiconducteur est choisi dans le groupe comprenant le diamant en couche mince, CdTe, ZnTe, CdZnTe, AsGa et 5 ses alliages, InP, InSb, SiC, le silicium cristallin, le silicium amorphe, les cristaux organiques, le sélénium amorphe et le verre chalcogénure  $As_2S_3$ .

7. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comprenant en outre un dispositif 10 électronique (30) de lecture des signaux électriques fournis par les pistes (22) lorsque celles-ci collectent les porteurs de charge.

8. Détecteur selon la revendication 7, dans lequel une extrémité (32) de chaque piste est recourbée 15 pour s'étendre sur un bord (14) de la couche correspondante (6) de matériau semiconducteur, ce bord étant situé sur la deuxième face (10) de l'empilement (2), et le dispositif (30) comprend des plots électriquement conducteurs (34) qui sont respectivement 20 en contact avec les extrémités recourbées (32) des pistes (22).

9. Procédé de fabrication du détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel on forme, sur chaque feuille (4), une couche (6) 25 du matériau semiconducteur, cette couche étant munie du groupe de pistes (22) qui lui est associé et l'on assemble les feuilles munies des couches de matériau semiconducteur et des pistes pour obtenir l'empilement (2) où ces couches de matériau semiconducteur alternent 30 avec les feuilles (22).

10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel on forme sur chaque feuille (4) une première couche de matériau semiconducteur dont l'épaisseur est

inférieure à celle de ladite couche (6) du matériau semiconducteur, on forme le groupe de pistes (22) sur cette première couche et l'on forme, sur la première couche, une deuxième couche de matériau semiconducteur 5 qui recouvre ces pistes, l'épaisseur totale des première et deuxième couches étant égale à l'épaisseur de ladite couche (6) de matériau semiconducteur.

11. Procédé de fabrication du détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans 10 lequel on dépose, sur deux faces opposées de deux feuilles (4) successives, une demi-couche du matériau semiconducteur puis on forme sur l'une des demi-couches le groupe de pistes (22) et l'on assemble les feuilles ainsi recouvertes pour obtenir l'empilement où les 15 couches alternent avec les feuilles.

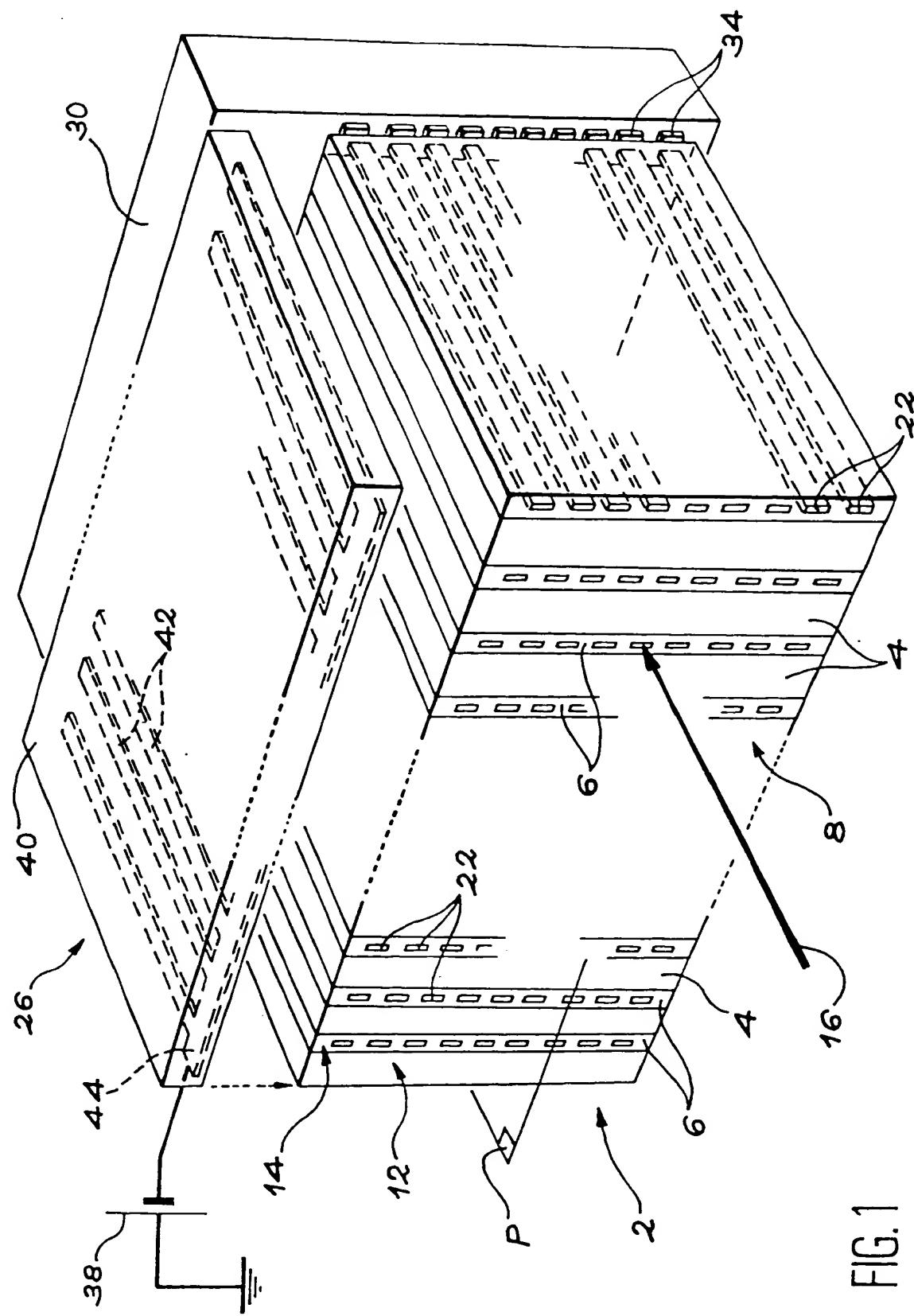


FIG. 1

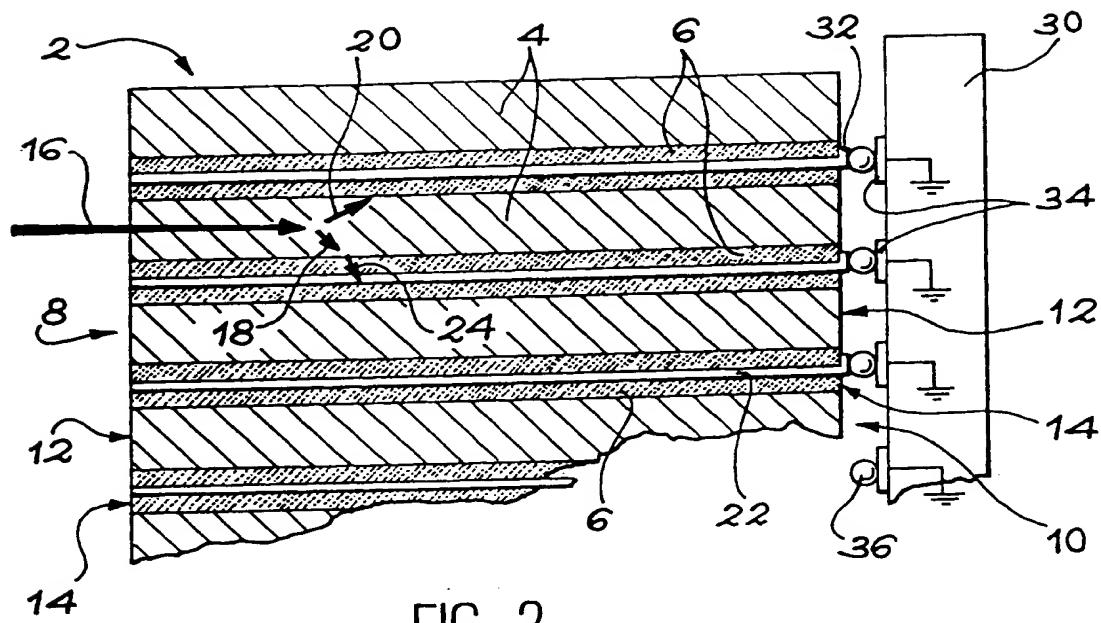
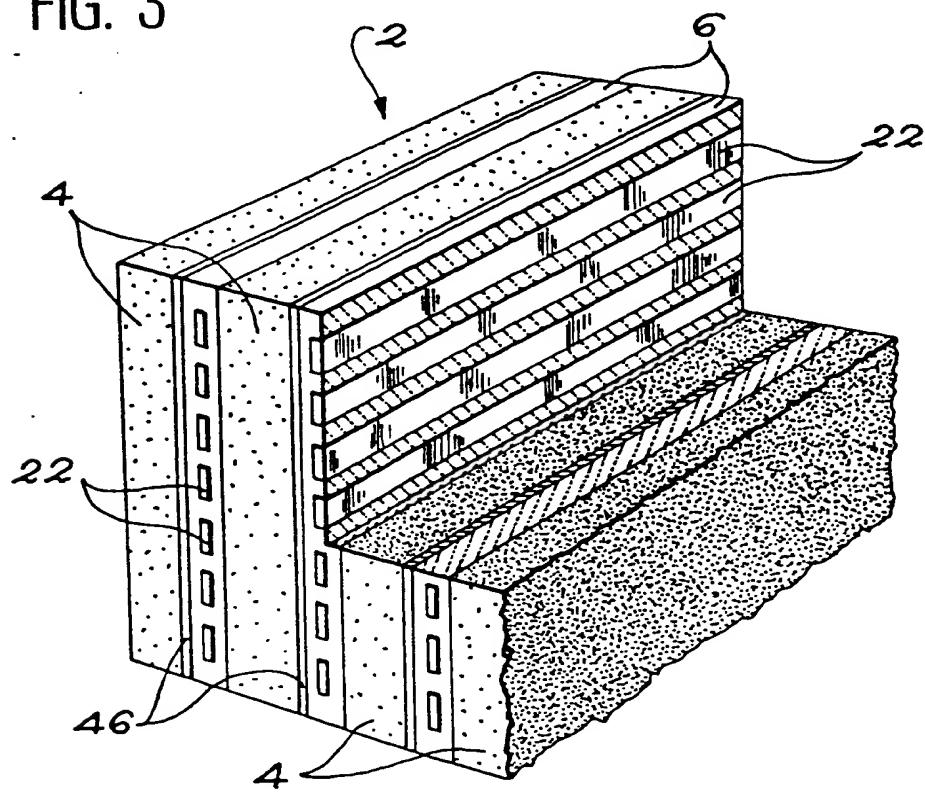


FIG. 2

FIG. 3



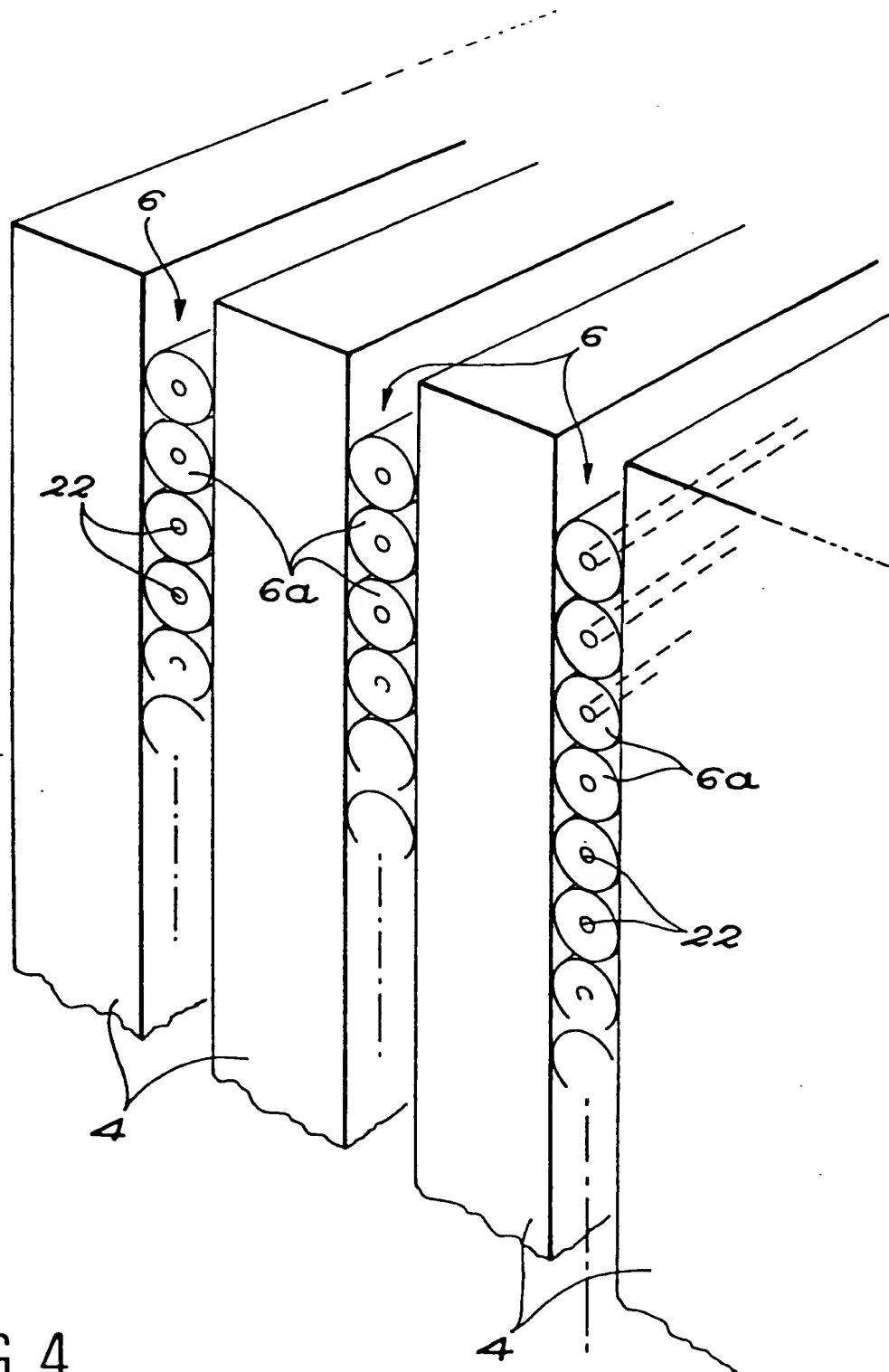


FIG. 4

